

UKLANJANJE (RAZGRADNJA) BRANA I/ILI PREGRADA NA OTVORENIM VODOTOCIMA

prof. dr. sc. Tanja Roje-Bonacci, dipl. ing. građ.

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu,
Matice hrvatske 15, 21000 Split
bonacci@gradst.hr

prof. emeritus Ognjen Bonacci, dipl. ing. građ.

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split

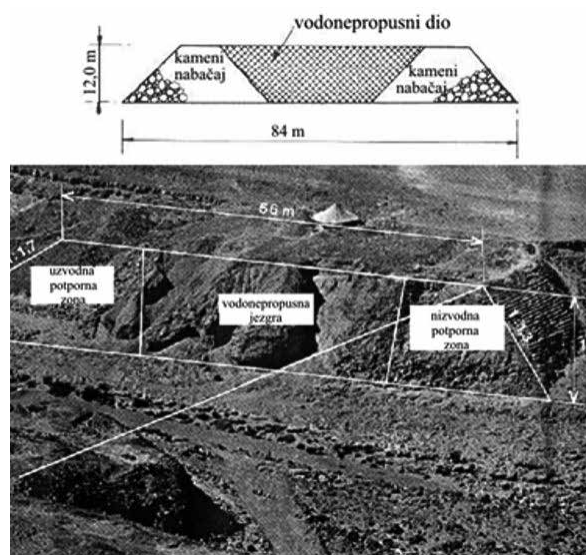
Rad tretira problematiku uklanjanja ili razgradnje postojećih brana koje pregrađuju riječna korita, a koje su bile izgrađene s najrazličitijom svrhom od obrane od poplava, preko navodnjavanja i opskrbe vodom do rekreacije, uzgoja riba itd. Radi se o procesu koji je u svijetu već odavno započeo, a osobito je intenziviran u posljednjih nekoliko desetljeća u SAD-u. U Hrvatskoj se o njemu praktično ne govori, te se stoga i vrlo malo zna, a očigledno je da ćemo se i mi morati suočiti s tom problematikom. U radu su opisani brojni razlozi koji prisiljavaju da se pojedine brane moraju ukloniti. Govori se i o posljedicama koje mogu nastati nakon vršenja ovih zahvata, pozitivnim kao i onim drugim.

Ključne riječi: uklanjanje brana, akumulacije, sedimentacija, erozija, ekološke posljedice

1. UVOD

Brane predstavljaju značajne umjetne tvorevine koje ljudi grade već nekoliko tisućljeća. Pretpostavlja se da su prve pregrade riječnih korita bile izgrađene prije oko šest tisuća godina. Najpoznatija i dijelom sačuvana brana je Sadd el-Kafara (Egipat) prikazana na [slici 1](#) (Schnitter, 1994.; Bard i Shubert, 1999.; Herle, 2004.). U svijetu postoji nekoliko veoma starih brana koje su još u funkciji. Brana Quatinah ili brana na jezeru Homs (Sirija) najstarija je brana na svijetu koja i danas služi svrsi. Izgrađena je tijekom vladavine dinastije egipatskih faraona Sethi između 1319.-1304. prije nove ere. Proširena je tijekom rimskog razdoblja i potom između 1934. i 1938. U Španjolskoj postoje dvije vrlo stare brane, obje izgrađene u rimskom razdoblju krajem prvog i početkom drugog stoljeća. Brana Proserpina duga je 427 m i visoka 22 m, a brana Cornavol ima dužinu 194 m i visinu 24 m (<http://www.water-technology.net/features/feature-the-worlds-oldest-dams-still-in-use>).

Izgradnja i funkcioniranje brana odigrali su važnu, na nekim područjima (osobito onim u sušnim krajevima) i ključnu, ulogu u razvoju civilizacije. Osnovni cilj pregrađivanja otvorenih vodotoka branama je ublažavanje neravnomjernosti prirodnog hidrološkog režima. Radi se o potrebi da se nepovoljni prirodni režim transformira u povoljniji sa svrhom osiguravanja vodnih resursa tijekom kritičnih (beskišnih i s niskom protocima) sezona godine, ali i u duljem razdoblju. Međutim, kako to neizostavno biva kod svakog velikog antropogenog zahvata, uz pozitivne se učinke javljaju i negativne



Slika 1. Presjek (gore Herle, 2004.) i fotografija (dolje Schnitter, 1994.) brane Sadd el-Kafara (Egipat) sagrađene 2600. prije nove ere

posljedice koje postaju sve izraženije što je pojedini objekt duže u primjeni (Bonacci, 2015.). Primjera radi navodi se da u SAD-u postoji oko 80.000 riječnih pregrada viših od 2 m, te više desetaka tisuća nižih. Uklanjanje brana je proces razgradnje amortiziranih (s isteklom koncesijom), ostarjelih, opasnih ili ekološki štetnih pregrada iz riječnih sustava.

Posljednjih desetljeća u cijelom se svijetu značajno smanjio broj izgrađenih brana, a pojavio se i snažni pokret koji zahtijeva uklanjanje niza postojećih. Podrška obnovi prirodnih vodotoka (restauraciji) uklanjanjem pregrada

na otvorenim vodotocima u snažnom je porastu u SAD-u, zemljama Zapadne Europe i Japanu. S druge strane treba napomenuti da niz zemalja Afrike, Azije i Latinske Amerike nastavlja s izgradnjom velikih, ali i malih brana uglavnom sa svrhom proizvodnje hidroenergije i natapanja poljoprivrednih površina s ciljem zadovoljavanja vlastitih potreba te izvozom viška proizvedene energije i hrane. Proces uklanjanja ili razgradnje brana u posljednjih dvadesetak godina razvio se od radikalne ideje u afirmiranu i prihvaćenu praksu. Nije samo zanimljivo, već je i esencijalno važno pokušati shvatiti razloge takvog obrata.

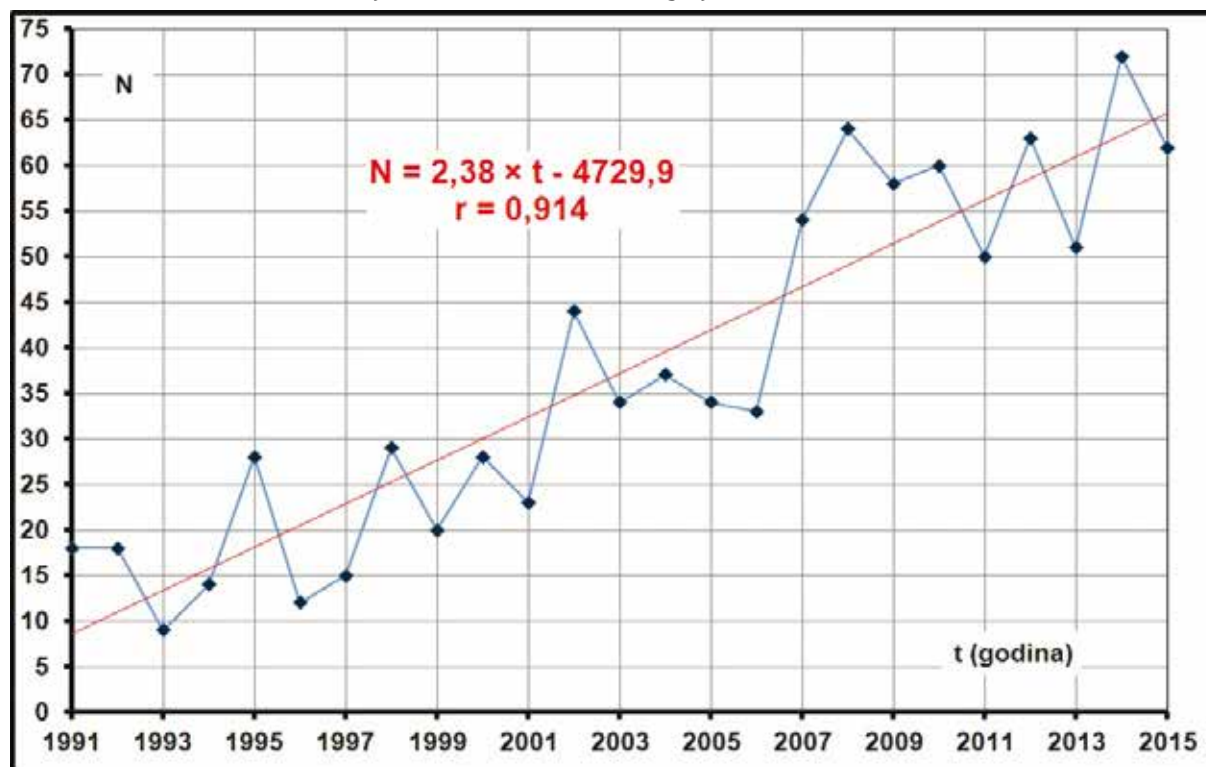
O kakvoj se kontradiktornoj problematici radi jasno svjedoči sljedeći primjer. Pokret Zelenih u Mađarskoj je uspio spriječiti izgradnju protočne HE Nagymaros na Dunavu. Radi se o stepenici nizvodno od HE Gapčikovo (Slovačka). Radovi su zaustavljeni u trenutku kada je pola Dunava već bilo pregrađeno, izrađena je bila građevna jama i dio temelja. Vraćanje u prvobitno stanje izazvalo je niz poteškoća te uzrokovalo veliki dug Mađarskoj koja je kredit za izgradnju trebala Austriji vratiti u obliku struje proizvedene u toj hidroelektrani. Radovi na sanaciji ni do danas nisu privedeni kraju.

Uklanjanje brana se osobito intenzivno događa u najrazvijenijim državama svijeta u kojima je sagrađen najveći broj pregrada na otvorenim vodotocima. U razdoblju od 1912. do 2015. Agencija American Rivers (<http://www.americanrivers.org/blog>) navodi da je u SAD-u uklonjeno 1300 brana. Service (2011.) naglašava da je više od polovine ovog broja razgrađeno u zadnjih desetak godina, dok Grant i Lewis (2015.) navode da je većina razgrađenih brana bila niža od 15 m, ali da je jedna brana bila viša od 70 m. U razdoblju od 2013. do 2015.

razgrađena je najviša brana San Clemente na rijeci Carmel (Kalifornija, SAD) izgrađena 1921. godine, visoka 106 m, a duga 300 m.

Na slici 2 dat je grafički prikaz broja razgrađenih brana godišnje, N , u SAD-u u razdoblju 1991.–2015. (Service, 2011.; (<http://www.americanrivers.org/blog>)). Iz prikaza je uočljiv trend porasta broja uklonjenih pregrada na otvorenim vodotocima u SAD-u tijekom posljednjih 25 godina. U tom je razdoblju uklonjeno čak 930 pregradnih objekata raznih dimenzija na otvorenim vodotocima. Većina njih je bila locirana na istočnoj obali. Radi se vrlo često o rijekama koje utječu u Atlantski ocean ili o njihovim pritokama. Na osnovi vrlo visoke vrijednosti koeficijenta linearne korelacije koja iznosi $r=0,914$ čini se da se radi o nezaustavljivom procesu, makar u dogledno vrijeme.

Kao jedan od bitnih razloga njihovog uklanjanja navedena je potreba da se lososima otvore prirodni putovi njihove migracije koji su bili onemogućeni izgradnjom brana (ARFETU, 1999.). Na fotografiji na slici 3 snimljen je protest lokalnog stanovništva Oregona (SAD) koje zahtijeva uklanjanje četiri brane na rijeci Klamath s ciljem da se omogući migracija lososa. Međutim, brojni primjeri iz prakse ukazuju da to nije bio jedini, a nerijetko niti ključni razlog uklanjanja pojedine brane, iako se on isticao kao bitan. Razlog uklanjanja brane San Clemente (Kalifornija, SAD) na rijeci Carmel, izgrađene 1921. godine, bila je njezina dotrajalost. U trusnom području Kalifornije (SAD) njen opstanak na terenu predstavljao je realnu opasnost od rušenja. Stoga je brana uklonjena 2015. godine unatoč činjenici što u tom dijelu SAD-a istovremeno vlada četverogodišnja suša te je stoga doslovno svaka kap vode dragocjena.



Slika 2. Grafički prikaz broja razgrađenih brana u SAD-u u razdoblju 1991.–2010. (Service, 2011.)



Slika 3. Protest stanovnika Oregona kojim se traži uklanjanje četiri brane na rijeci Klamath koja protječe kroz Oregon i Kaliforniju (SAD) (http://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure)

Ekologija, zaštita okoliša i biološka raznolikost danas predstavljaju važne teme s kojima se najlakše senzibilizira javnost i kojima se stoga u sredstvima javnog informiranja pridaje veliko značenje. Na toj osnovi koncipirani razlozi mogu poslužiti (i nerijetko posluže) kao ključan argument za uklanjanje pojedinih brana, iako se iza tih akcija mogu kriti brojni drugi razlozi, obično oni tehničke, ekonomske ili političke prirode. Zbog kompleksnosti, ali i visoke cijene zahvata uklanjanja i za sada nedovoljnog poznavanja ove problematike treba biti oprezan i kritičan kod donošenja odluka. Opres i kritičnost treba temeljiti na znanosti i iskustvu. O tehničkim razlozima bit će detaljnije govora u sljedećem poglavlju ovog rada.

U SAD-u Bureau of Reclamation izdaje dozvole za uklanjanje brana, dakle podržava i upravlja ovim procesom. Treba naglasiti da se dozvole za svaku pojedinu branu izdaju na osnovi detaljnih izučavanja i uz obavezu da se prate dugoročne posljedice uklanjanja pregrade (ASCETC, 1997.). Takav sustavni monitoring daje jedinstvenu mogućnost znanstvenicima da izuče i shvate kako se brzo i u kojoj mjeri rijeke mogu vratiti u prirodno stanje, što u svim slučajevima predstavlja jedan od važnih ciljeva. Do danas izrađeni brojni fizikalni, numerički, ekološki i drugi modeli nisu se pokazali posebno uspješnim u predviđanju razvoja procesa u bliskoj, a pogotovo ne u daljoj budućnosti. Stoga u ovom trenutku kao jedini pouzdani pokazatelj stoji na raspolaganju izučavanje razvoja procesa na vodotocima na kojima su pregrade uklonjene. Došlo se do zaključka da je svaki slučaj specifičan (Grant i Lewis, 2015.). Čini se da se u ovom trenutku stanja saznanja jedino detaljnim monitoringom i na njemu zasnovanim znanstvenim analizama može doći do općih saznanja, ali i do ispravnih praktičnih rješenja.

Kako se radi o vrlo složenom, nedovoljno izučenom, a moglo bi se reći i problematičnom, te stoga opasnom postupku, u ovom će se radu pokušati cjelovito i s više aspekata tretirati problematika uklanjanja izgrađenih brana. Bit će analizirana sljedeća tri aspekta: (1) tehnički;

(2) geomorfološki; (3) ekološki. Ne treba zaboraviti da se pri donošenju odluka ne smiju zanemariti ni ostali aspekti kao što su oni ekonomski (kratkoročni i dugoročni), socijalni pa i politički o kojima, nastavno, neće biti govora.

Cilj ovog rada je da stručnoj javnosti u Hrvatskoj pruži informaciju o stanju problematike uklanjanja brana u svijetu. Kod nas se o tome vrlo malo piše i govori pa je ne samo šira, već i stručna javnost o tome nedovoljno obaviještena. Prije ili kasnije i mi ćemo se morati suočiti s činjenicama da su nam neke brane ostarjele te da više ili nisu stabilne ili ne služe svrsi za koju su izgrađene. Stoga je dobro pripremiti se na vrijeme za neizvjesnu budućnost koja čeka i naše brane.

2. TEHNIČKI VIDOVI RAZGRADNJE I UKLANJANJA BRANA

Brana u građevinskom smislu ima dva zadatka. Jedan je osigurati visinsku razliku potencijala vodotoka koja se zatim na određeni način može koristiti. U tom slučaju brana zadržava veće količine vode duže vrijeme, a voda služi za proizvodnju energije, navodnjavanje, vodoopskrbu i slično. Ove brane zauzimaju znatan prostor izvan prirodnog korita. Druga vrsta brana služi za samo kratkotrajno zadržavanje većih količina vode, ublažavanje energije toka i zadržavanje većih količina nanosa. Istraživanja su pokazala da 91 % vode koje rijeke dovedu u sjeverni dio Atlantskog oceana ne teku potpuno prirodnim koritima (Conyngham et al., 2006.).

Prijelazom industrije na pogon električnom energijom i njezinim korištenjem u cijelom svijetu vrlo naglo raste broj izgrađenih brana za potrebe proizvodnje hidro energenata. To je razdoblje započelo krajem 19. stoljeća. Osim pojedinačnih brana na vodotocima se grade i čitavi hidroenergetski sustavi (npr. sustav Buško Blato – Cetina). Potreba za što većom razlikom potencijala u svrhu proizvodnje struje uvjetuje izgradnju sve viših brana. Nova gradiva kao što su beton i armirani beton omogućuju izgradnju vrlo elegantnih, tankostijenih lučnih brana i masivnih gravitacijskih ili kombiniranih konstrukcija sa znatnim zahtjevima na temeljno tlo. Takve visoke brane, s nastankom jezera iza njih, stvaraju u tlu velike hidrostatičke pritiske koji uvjetuju tečenje kroz tlo u izmijenjenim uvjetima i gubitke vode iz umjetnog jezera. Da bi se to spriječilo oko brana se izvode duboke injekcijske zavjese koje dodatno mijenjaju prirodno stanje u okolišu brana.

Brane građene posljednjih stotinjak godina imaju svoj projektni vijek trajanja. Osim projektnog vijeka trajanja imaju i stvarni vijek trajanja, a i vijek trajanja koncesija za rad. Tijekom vremena mogu se pogoršati fizičko-mehanička svojstva gradiva brane, ali i povećati gubitci vode iz akumulacija, posebno onih izgrađenih u kršu. Ovdje je zanimljivo napomenuti slučaj brane Vajont, koja je i pored nevjerojatno velikog opterećenja izazvanog klizanjem južnog boka planine Monte Toc u

jezero ostala potpuno čitava. Suprotan je primjer kad se, zbog lošeg gradiva brana Gleno (1916.–1923.), locirana nešto zapadnije od brane Vajont, srušila 40 dana nakon projektiranog punjenja jezera. Vezano s problematikom uklanjanja brana treba naglasiti da postoji velika razlika u propisima po kojima su se projektirale i izvodile brane u 20. stoljeću i zahtjeva koje danas postavljaju propisi EUROCODE, naročito vezano za potrese.

Na nekim je branama utvrđeno da gubitci procjeđivanjem ispod i oko brane ispočetka rastu postepeno, a tijekom vremena sve brže. Objašnjenje je popuštanje vododrživosti injekcijske zavjese. Kada gubitci postanu neisplativo veliki postavlja se pitanje treba li vršiti sanaciju ili obustaviti pogon. U tom se smislu postavlja pitanje i mogućnosti razgradnje brane da bi se izbjegli troškovi skupog održavanja građevine koja nije u pogonu. Kod nasutih brana procjeđivanje se javlja i kroz branu. I ono može tijekom vremena postati intenzivnije i izazivati potencijalnu opasnost za stabilnost građevine.

U SAD-u je najveći broj brana građen između 1950. i 1980. godine. Pod projektnim vijekom trajanja se podrazumijevaju dva vida. Jedan ide u smjeru trajnosti gradiva od kojeg je brana izgrađena, dok drugi uzima u obzir zapunjenost zajezerenog prostora iza brane. Tu je zanimljivo napomenuti da brana Peruća, sagrađena 1958., godine, dakle prije više od pola stoljeća, do danas nije prouzročila zapunjavanje zajezerenog prostora iole značajnim količinama bilo koje vrste nanosa.

S obzirom na trajnost gradiva potrebno je provjeriti njegovu kakvoću danas, bez obzira o kakvoj se vrsti gradiva radi. Valja napomenuti da je i temeljno tlo, posebno kada se radi o velikim branama, izgradnjom brane dovedeno u neprirodno stanje koje može mijenjati njegova prirodna svojstva. Starenje, u smislu smanjenja kakvoće gradiva, vrlo je opasno jer može prouzročiti rušenje brane s vrlo teškim posljedicama. Svijest o ovome pojačana je rušenjem triju brana 70-ih godina u SAD-u (Buffalo Creek, Teton i Toccoa Creek) i Binqiao (1975.g) brane u Kini koja je prouzročila oko 200.000 žrtava.

Kod nekih je brana zapunjavanje zajezerenog prostora očekivano i ne smatra se štetnim, dok je kod drugih to bitno jer se smanjuje korisna zapremina jezera, čime se gubi funkcija i smisao postojanja objekta.

Pomisao na uklanjanje, razgradnju brana asocira na rušenje. To je međutim mnogo složenije od običnog rušenja, npr. eksplozivom, iz niza razloga. Prema podacima iz literature može se zaključiti da se u Europi više radi na sanaciji i rekonstrukciji starih brana, dok su u SAD-u skloniji njihovoj razgradnji.

Način uklanjanja brana ovisi o nizu čimbenika, prvenstveno o veličini i vrsti brane, veličini i zapunjenosti jezera i situaciji nizvodno od brane. Ovdje se podrazumijeva uklanjanje kako velikih brana, ali i brana visokih manje od metra. Očito je da se pojavljuje čitava lepeza načina i mogućnosti za njihovo uklanjanje.

Brane se mogu uklanjati „u suho“, tako da se vodotok premjesti ili voda crpi za cijelo vrijeme razgradnje, a

može se razgrađivati i uz prisustvo vode. U ovom slučaju treba biti izuzetno pažljiv da se ne izazove naglo rušenje i katastrofa u nizvodnom dijelu sliva. Za dio građevina mogu se koristiti temeljni ispusti za pražnjenje jezera, a zatim postepena razgradnja uz stalni protok vodotoka. Problem nastaje pri pojavi obilnih kiša i velikih voda koje mogu izazvati neželjene posljedice kod djelomično uklonjene brane.

3. GEOMORFOLOŠKI VIDOVI UKLANJANJA BRANA

Inženjere i znanstvenike koji se bave problematikom otvorenih vodotoka, a osobito izučavanjem riječne geomorfologije, posebno intrigiraju posljedice uklanjanja pregrada na složene, nedovoljno poznate, ali međusobno duboko uvjetovane procese koji će se odvijati u uzvodnom i nizvodnom dijelu riječnog korita. Radi se o procesima odnošenja nanosa koji se nataložio u akumulacijama, njegovom transportu i konačno odlaganju. Spomenuti procesi uzrokuju značajne i teško predvidive posljedice na pridružene ekosustave, na sigurnost obrane od poplava, na stabilnost obala, na odnos površinskih i podzemnih voda te na brojne druge aspekte u i oko korita. Praksa je pokazala da uklanjanje svake pojedine brane rezultira drugačijim posljedicama na spomenute geomorfološke, a preko toga i ostale procese (Pizzuto, 2002.). Za sve je ipak zajedničko to da se uklanjanjem pregrade povećava pad uzvodno od razgrađene brane, što uzrokuje odnošenje nanosa nizvodno. Količina i način odnošenja nataloženog sedimenta zavisi o načinu razgradnje brane (postepeno ili naglo), o svojstvima sedimenata nataloženih u akumulaciji (količini i kohezivnosti), ali i o prirodnim hidrološkim procesima koji slijede poslije razgradnje i na koje čovjek općenito ne može utjecati. Pojava dugotrajnih sušnih razdoblja rezultat će sporim odnošenjem nanosa na male udaljenosti nizvodno od bivše pregrade, dok će pojava jedne velike vode transportirati goleme količine suspendiranog nanosa nizvodno na velike udaljenosti.

Doyle et al. (2003.) su zaključili da kod malih brana s jako zapunjenim akumulacijama relativno brzo dolazi do odnošenja nanosa s tim da se korito novog vodotoka urezuje u nataloženi nanos do dubine koju je imalo prije pregrađivanja. U uzvodnom dijelu (u području negdašnje akumulacije) korito se prvo produbljuje, ali i postepeno širi. Razvoj korita u uzvodnom dijelu zavisi o karakteru sedimenta, ali i o tome jesu li tijekom funkcioniranja akumulacije vršena pražnjenja muljnih tokova kroz temeljni ispust. U akumulacijama kod kojih su vršena redovita pražnjenja tim postupkom su isprane najfinije čestice te su ostale samo krupnije frakcije nekonsolidiranog materijala. Taj materijal biva odnesen prilikom pojave prvog vala velike vode koji se pojavi poslije uklanjanja pregrade. U akumulacijama, gdje se tijekom njihovog funkcioniranja (obično dužeg od 50 godina) nije vršilo pražnjenje, fini sedimenti su se konsolidirali. Zbog toga je njihovo odnošenje nizvodno

sporije, ali ih vodotok može odnijeti mnogo dalje nizvodno nego krupniji materijal. U konsolidiranim materijalima se novo korito formira po poznatim principima riječne morfologije.

Iz prethodno rečenog se može zaključiti da ključnu ulogu u razvoju morfoloških procesa uzvodno, ali i nizvodno od uklonjene pregrade igra granulometrijski sastav i kohezija nataloženih sedimenata. U nizvodnom dijelu ključno je pitanje koliko daleko će nanos biti odnesen, tj. gdje će biti deponiran. Činjenica je da na nekim dionicama rijeke taj nanos može biti dobrodošao, tj. neće uzrokovati nikakve veće štete, dok će na drugim mjestima njegovo taloženje biti uzrokom brojnih nevolja, a osobito povećanja opasnosti od poplava. Do danas su izrađeni brojni numerički i fizikalni modeli pronosa nanosa kojima se pokušava odrediti na koju će udaljenost i u kojem vremenu biti odnesen, kao i gdje će biti deponiran poslije uklanjanja pregrade (na pr. Rathburn i Wohl, 2001.; Downs et al., 2009. itd.). Grant i Lewis (2015.) ukazuju da su i najsloženiji modeli još daleko od toga da mogu iole pouzdano predvidjeti razvoj ekstremno složenih interaktivnih geomorfoloških i ekoloških procesa koji mogu utjecati neočekivano i na sigurnost sustava obrane od poplava. Stoga inzistiraju na boljem i sustavno organiziranom korištenju empirijskih mjerenja i iskustava.

Jedno od ključnih pitanja kod uklanjanja pregrada na rijekama je koliko će brzo nizvodno biti odnesen nanos zadržan u akumulaciji. Odgovor na to vrlo je različit od slučaja do slučaja.

Slučaj brane Stronach na rijeci Pine (Michigan-SAD), izgrađene 1912. godine, je vrlo značajan stoga jer su tu izvršena brojna i detaljna mjerenja koja su omogućila donošenje važnih zaključaka (Burroughs et al., 2009.). Površina sliva rijeke Pine na profilu brane iznosi 68,6 km², a prosječni protok je 8,1 m³/s. Brana visine 5,5 m formirala je akumulaciju volumena 789.500,0 m³. Uklanjanje brane započelo je u proljeće 1997., a trajalo je do prosinca 2003. Radi se o postepenom („staged“ ili „gradual“) postupku uklanjanja pregrade. Cilj ovakvog postupka je da se omogući postepeni razvoj novog riječnog korita uz polagane promjene okoliša. Smatra se da se na taj način omogućava prilagodba postojećih ekosustava na nove uvjete uz najmanje štete vrstama i njihovim staništima, čime se ne ugrožava postojeća biološka raznolikost. Tijekom 10 godina od početka uklanjanja brane izneseno je ukupno 92.000 m³ sedimenta, što iznosi tek 12 % od ukupno nataloženih količina tijekom duže od 85 godina funkcioniranja brane i akumulacije. Kao razlog tako malom odnošenju nanosa navode se dva čimbenika. Prvi, ali ne ključni, je postepeno uklanjanje brane tijekom skoro šest godina. Drugi, mnogo značajniji čimbenik su svojstva nataloženog sedimenta. Radi se o finim česticama gline velike kohezije koja se u akumulaciji taložila dugo vremena stvarajući čvrstu strukturu. Uzvodno od uklonjene brane rijeka Pine je produbila usko i duboko korito sa strmim obalama u kojem se razvijaju velike

brzine vode. Mali dio od odnesenog nanosa (samo oko 14 %) deponiran je nizvodno na dužini od 1 km riječnog korita. Preostalih 86 % iz akumulacije odnesenog nanosa deponirano je u daljnjih oko 3 km korita i pripadnog plavljenog prostora. Korito nizvodno od brane mnogo je šire i pliće, ali su brzine tečenja vode u njemu nešto veće od onih koje su bile dok je funkcionirala brana Stronach. Razlog je povećanje pada korita vodotoka.

Primjer vrlo različit od prethodno iznesenog odnosi se na branu Condit. Radi se o betonskoj gravitacionoj brani visine 38 m izgrađenoj između 1911. i 1913. na rijeci White Salmon, pritoci rijeke Columbia u koju utječe oko 5,5 km nizvodno od brane Condit. Izgrađena je s ciljem proizvodnje električne energije u području koje se tada snažno industrijski razvijalo te je oskudijevalo energijom. PacifiCorp kao vlasnik brane i postrojenja odlučio je ukloniti branu. Kao glavni razlog navodi se obnova prirodnih putova lososa te staništa pastirva i drugih ugroženih ribljih vrsta u skladu s novim federalnim zakonima. Već sam naziv rijeke White Salmon (Bijeli Losos) na kojoj je brana izgrađena svjedoči o tome da je ona u prirodnom stanju predstavljala važan migracijski put za losose. Međutim, ne treba biti naivan te misliti da je briga za losose i druge riblje vrste bila glavni razlog uklanjanja ovog objekta. On je bio star, skoro 100 godina, akumulacija je bila zapunjena nanosom, a proizvodnja električne energije više nije bila ekonomski isplativa. Međutim, ekolozi i lokalno stanovništvo su njeno uklanjanje doživjeli kao veliki uspjeh svojih čestih prosvjeda.



Slika 4. Fotografija brane Condit na rijeci White Salmon (<http://www.pacificcorp.com/condit>)

Uklanjanje brane Condit smatra se jednim od najvećih i najdramatičnijih postupaka takve vrste izvršenih do danas u cijelom svijetu. Fotografija brane prije uklanjanja dana je na slici 4. Brana je uklonjena miniranjem, dakle naglim ili trenutačnim („instantaneous“) postupkom, dana 26. listopada 2011. Fotografija lokaliteta na kojem je bila uklonjena brana nalazi se na slici 5. Površina akumulacije, koja je iznosila je 37 ha, bila je ispunjena s 1,8 × 10⁶ m³ šljunka, pijeska i mulja. Snažna eksplozija stvorila je otvor širine 6 m u tijelu betonske brane kroz koji je u kratkom vremenu protekla velika količina vode i nanosa iz prostora akumulacija. Na nizvodnoj vodomjernoj postaji udaljenoj od brane 2,33 km protok se digao od 1,5 m³/s, koliki je bio prije rušenja brane, na oko

400 m³/s u samo 20 minuta poslije eksplozije (O'Connor et al., 2012.). Preostali dio brane bio je uklonjen tijekom sljedećih deset mjeseci. Treba naglasiti da je sam čin uklanjanja brane bio tek prvi korak u restauraciji White Salmon rijeke, tj. u obnovi njenih vrijednih prirodnih ekoloških funkcija.



Slika 5. Fotografija mjesta na kojem je nekoć bila brana Condit na rijeci White Salmon (<http://www.pacificcorp.com/condit>)

Neposredno nakon eksplozije kroz otvor je iz akumulacije potekla voda ekstremno zasićena sedimentom. Radilo se u stvari o muljnom toku jer je u litri protekle vode bilo čak 0,7 kg nanosa. Samo dan poslije rušenja brane izmjereno je da se nanos iz akumulacije deponirao u nizvodnom dijelu korita rijeke na dužini od više od 2,5 km. Dno se podiglo za više od jedan metar. U roku od pedesetak sati iz akumulacije je odneseno više od 60 % nanosa koji se tamo taložio skoro 100 godina. Razlog tako brzog odnošenja leži uz činjenicu što je u sastavu nanosa bilo više od 55 % sitnog pijeska malih kohezijskih svojstava.

Sitne čestice mogu biti transportirane više desetaka kilometara nizvodno. Ove se čestice pronose kao suspendirani nanos. Većina grubih frakcija šljunka i oblutaka bit će transportirana u obliku vučenog nanosa te će biti deponirana na mnogo kraćim udaljenostima, tek nekoliko kilometara nizvodno od uklonjene brane. Uočeno je da deponiranje te vrste nanosa može podići korito i za više od 3 m, što zavisi o morfološkim svojstvima nizvodnog dijela korita.

Za razvoj uzvodnog dijela korita ključnu ulogu igraju: (1) način na koji je brana uklonjena (naglo ili postepeno); (2) kohezivnost sedimenata deponiranih u akumulaciji; (3) granulometrijski sastav (krupne ili sitne čestice). Za razvoj nizvodnog dijela riječnog korita i transport sedimenta ključni su: (1) granulometrijski sastav (krupne ili sitne čestice); (2) odnos volumena sedimenta iznesenog iz akumulacije prema transportnom kapacitetu nizvodnog dijela korita. Transportni kapacitet zavisi o morfologiji korita (osobito padu) i o hidrološkim svojstvima vodotoka (osobito pojavi i karakteristikama hidrograma velikih voda).

4. EKOLOŠKI VIDOVI UKLANJANJA BRANA

Individualno, ali i kumulativno, pregrade na otvorenim vodotocima utječu na promjenu ekosustava na sljedeća tri načina: (1) mijenjaju nizvodni dotok vode i nanosa čime modificiraju biogeokemijski ciklus kao i strukturu i dinamiku akvatičnih i priobalnih staništa; (2) mijenjaju temperaturu vode, čime utječu na vitalne bioenergetske procese flore i faune; (3) predstavljaju prepreku slobodnom i prije njihove izgradnje prirodnom uzvodno-nizvodnom kretanju organizama i hranjiva, čime sprječavaju biotičku izmjenu bitnu za pružanje podrške održivom razvoju cjelovitog ekosustava. Prethodno navedene bazične promjene značajno utječu na razvoj ekoloških procesa u različitim dimenzijama prostora i vremena (LeRoy Poff i Hart, 2002.).

Da bi se složena problematika utjecaja brana na ekosustave kao i posljedice njihovog uklanjanja na ekološke procese mogla učinkovitije shvatiti i praktično bolje riješiti LeRoy Poff i Hart (2002.) inzistiraju na neophodnosti ekološke klasifikacije brana. Cilj ovog postupka je određivanje kako nagle varijacije veličina objekata, njihovih pogonskih funkcija, starosti i broja brana na rijekama utječu na mogućnost vraćanja otvorenih vodotoka u prirodno stanje. Važno je izučiti kako pogon pojedine brane, tj. ispuštanje i zadržavanje vode, utječe na nizvodne ekosustave. Kod akumulacija izgrađenih za proizvodnju hidroenergije često dolazi do naglog ispuštanja vode što može vrlo negativno utjecati na ekosustav. Kad se tome doda ispuštanje značajno hladnije vode akumulirane pri dnu ili značajno toplije vode akumulirane u plitkim rezervoarima u nizvodni dio vodotoka u kojem je temperatura vode bitno drugačija nizvodno može doći do pojava naglog i masovnog ugibanja raznih vrsta, osobito onih ribljih. Očigledno je da se za potrebu rješavanja ove problematike mora koristiti holistički pristup koji zahtijeva tijesnu suradnju brojnih stručnjaka koji pripadaju najrazličitijim znanstvenim i stručnim granama. Osim toga, on mora biti zasnovan na racionalnom korištenju teoretskih i empirijskih saznanja. Hart et al. (2002.) napominje da nedostatak empirijskih saznanja o reakciji okoliša na uklanjanje brana predstavlja glavni razlog nesigurnosti u predviđanju razvoja procesa u bliskoj, a osobito daljoj budućnosti.

Ne smije se zanemariti činjenica da uklanjanje brane koja je na nekoj lokaciji postojala više desetaka godina izaziva stres u okolišu. Postojeća ravnoteža biva naglo poremećena, što uzrokuje gubitke staništa i vrsta. Potrebno je određeno vrijeme da se uspostavi nova ravnoteža koja bi trebala omogućiti brzu obnovu ekosustava i njegov dugoročno održiv razvoj.

Pri tome treba biti svjestan da će se neke posljedice pokazati poslije kratkog vremena, a da je realno očekivati mnogo značajnije promjene koje će se pojaviti poslije dugo vremena (više desetaka godina) kad sustav bude funkcionirao u novim uvjetima. Činjenica je da se od uklanjanja brana općenito očekuje korist za riječne

ekosustave i širi okoliš. Međutim, nažalost to nije uvijek tako. Ako je nanos u akumulaciji zagađen (toksičan) njegov transport nizvodno može utjecati vrlo negativno na okoliš i ekosustave. Osim toga, očekuje se da će uklanjanjima brana biti smanjena opasnost od poplava. To očekivanje u mnogim je situacijama daleko od istine. Izvjesno je da se neke od posljedica mogu negativno odraziti na okoliš. Treba shvatiti o kojim se potencijalnim opasnostima radi na pojedinom vodotoku i njegovom slivu te razviti metode za uklanjanje takvih negativnih posljedica.

Treba se samo prisjetiti činjenice da su sve brane i pregrade bili građene, a i danas se grade s iskrenim i naglašenim očekivanjima da će donijeti pozitivne rezultate. Kad se pristupilo njihovoj izgradnji očekivale su se samo koristi, a problemi su danas došli na naplatu.

Znanstvenicima za izučavanje posljedica uklanjanja brana na okoliš stoje na raspolaganju sljedeće tri alternative: (1) predviđanja zasnovana na analizama stvarno izvršenih uklanjanja; (2) predviđanja na osnovi analiza postojećih brana koje se namjerava ukloniti; (3) predviđanja na osnovi najrazličitijih vrsta modela (ekoloških, hidroloških, fizikalnih, kombiniranih, modela transporta nanosa, modela razvoja korita itd.).

Uklanjanjem brana otvara se mogućnost obnavljanja močvarnih područja („wetland“) u prostoru bivše akumulacije. Nerijetko se događa da se ti ekološki značajni prostori stvore sami od sebe bez ikakve ljudske intervencije, ali ima slučajeva kada čovjek svojim intervencijama pruži podršku njihovom formiranju i funkcioniranju.

Veličina brane igra značajnu ulogu na procese koji će se događati poslije njenog uklanjanja. Osim toga, ključnu ulogu igraju i fizička te biološka svojstva vodotoka i sliva. Klimatske i s njima vezane hidrološke karakteristike također snažno i često nepredvidivo utječu na posljedice uklanjanja brana. Ne smije se zaboraviti na utjecaj klimatskih varijacija i/ili promjena.

Problem je da su brojna današnja saznanja o posljedicama uzrokovana uklanjanjem brana zasnovana na detaljnom izučavanju ponašanja na pregradama visina viših od 15 m. Većina uklonjenih objekata niža je, a o njima se slabo vodi računa te se malo zna o njihovom utjecaju na ekosustave. Na ovoj problematici najviše se radi u SAD-u. Njihova vrijedna iskustva i saznanja ne smiju se automatski i nekritički prenositi na vodotoke i slivove s različitim svojstvima. Očito je da će različite rijeke i slivovi vrlo različito reagirati na uklanjanje pregrada različitih dimenzija i akumulacija različitih zapremina koje su bile formirane iza njih. Treba biti svjestan činjenice da svako uklanjanje zahtijeva individualan pristup.

Treba shvatiti da se samim uklanjanjem brane neće postići obnova vodotoka i stvaranje uvjeta za njegov održiv razvoj i pružanje konačne podrške biološkoj raznolikosti. Vraćanje vodotoka u prirodno stanje dugotrajan je proces na koji utječu i brojna druga ograničenja. Potrebno je detaljnim monitoringom (ekološkim, hidrološkim,

hidrogeološkim itd.) pažljivo pratiti razvoj procesa, a kad to bude potrebno i intervenirati. Današnje rijeke i njihovi slivovi toliko su promijenjeni antropogenim zahvatima da uklanjanje jednog objekta ne treba značiti da će doći do značajnih poboljšanja pripadnih ekosustava, a najmanje da će doći do obnove prirodnog stanja.

5. ZAKLJUČCI

Tečenje vode je ključni parametar koji upravlja temeljnom prirodom otvorenih vodotoka. Kako se radi o slučajnom procesu koji čovjek ne može kontrolirati, ili ako ga pokušava kontrolirati to uspijeva tek malim dijelom, treba biti spreman na neočekivane posljedice na strukturu i funkcioniranje ekosustava koje se mogu pojaviti po uklanjanju pregrada na rijekama.

Pregrađivanje otvorenih vodotoka bilo kojom vrstom brana i/ili pregrada snažno utječe na riječne procese i riječnu morfologiju. Rijeke predstavljaju kompleksne sustave, a riječni se procesi odvijaju desetljećima pa i stoljećima. Stoga nije moguće pouzdano predvidjeti razvoj situacije koja će nastati nakon uklanjanja pregrade. Činjenica je da se radi o prirodnom procesu koji zavisi o brojnim čimbenicima. Brojni postojeći modeli za sada nisu u mogućnosti dati pouzdane odgovore, ali mogu poslužiti za ispitivanje različitih varijanti. Grant i Lewis (2015.) smatraju da najveću korist za predviđanje razvoja poslije uklanjanja pregrada mogu pružiti empirijske analize i podatci, kojih za sada nema dovoljno.

Prije uklanjanja pregrade bilo bi važno poznavati kako je otvoreni vodotok izgledao u prirodnom stanju. Ova saznanja mogla bi biti od velike pomoći za predviđanje razvoja riječnog korita po uklanjanju pregrade. Realan problem je da su glavnina brana koje se namjerava ukloniti građene prije više desetaka godina pa saznanja o prirodnom stanju vodotoka ili nema ili su nedostatna. Vezano s analizom posljedica razgradnje brana velik problem predstavlja činjenica da neki procesi postaju uočljivi tek poslije dugo vremena, čak i više desetaka godina. Ne smije se zanemariti činjenica da je razgradnja skupa te da se radi o složenom tehničkom postupku te da je za nju potrebno uložiti sredstva u kratkom razdoblju. S druge strane dobit je nepouzdanost procijeniti, a ona se očekuje tijekom dugog razdoblja.

Osnovni podatci neophodni za izučavanje posljedica koje će nastati kad se ukloni neka pregrada na otvorenom vodotoku su: (1) količina nanosa u akumulaciji; (2) detaljna situacija rasprostranjenosti taložina u prostoru akumulacije (površina, visina, karakteristični poprečni presjeci); (3) dimenzije (visina i širina) kao i vrsta (nasuta, betonska itd.) pregrade; (4) Način, tj. tehnički postupci i brzina kojom će brana biti uklonjena; (5) karakteristike (kohezivnost i granulometrijski sastav) nanosa deponiranog u akumulaciji; (6) Detaljne hidrološke karakteristike vodotoka s osobitim naglaskom na dužinu trajanja i učestalost pojave sušnih razdoblja i karakteristike hidrograma velikih voda.

Kad se cjelovito razmišlja o svim vidovima problematike uklanjanja ili razgradnje brana, kako onim pozitivnim tako i onim negativnim, ekološkim, hidrološkim, ekonomskim i socijalnim ne smije se zaboraviti da od tog procesa značajnu ekonomsku korist imaju upravo oni koji su iste objekte i gradili, dakle građevinska operativa. U konačnici toj, za svako društvo, značajnoj privrednoj grani bitno je da radi, zapošljava i stvara dohodak. Ali, njen utjecaj u donošenju odluka o razgradnji brana ne smije biti odlučujući. Kriteriji za donošenje te odluke trebaju biti doneseni usklađenom i demokratskom (makar što to značilo) suradnjom brojnih stručnjaka i korisnika, a prije svega: ekologa, hidrologa i korisnika prostora.

Koncept uklanjanja brana je očito krajnje složen i osjetljiv. U Zapadnoj Europi se još uvijek nije tome pristupilo tako masovno kao u SAD-u. Europski stručnjaci su formirali četiri scenarija rješavanja problema vezana uz činjenicu da su brojne brane u Europi na kraju svog životnog vijeka i/ili razdoblja za koje im je izdana koncesija (http://www.rivernet.org/general/dams/decommissioning/decom3_e.htm).

Prvi scenarij se odnosi na objekte koji su pri kraju koncesijskog razdoblja ili je njegov rok prošao, ali su tehnički ispravni i sigurni te nemaju nikakve značajne negativne učinke na ekosustav. U tom se slučaju predlaže produžavanje koncesije za daljnjih 10 do 25 godina uz adaptaciju na suvremene standarde i povećanu kontrolu. U ovom se slučaju većinom radi o niskim branama.

Drugi scenarij se odnosi na rješavanje problematike brana koje se nalaze na kraju svog koncesijskog razdoblja i životnog vijeka. Bez obzira na ekološke probleme koje one uzrokuju bitna je sigurnost. Ta će se problematika javljati sve češće u bliskoj budućnosti. Ako je modernizacija sustava nemoguća te ukoliko je njena cijena previsoka predlaže se uklanjanje objekta.

Treći scenarij rješavanja se odnosi na slučaj ako je brana na kraju svog životnog vijeka ili koncesije te ako stvara velike probleme u okolišu. Ovakvi će problemi biti sve češći, a javljaju se uglavnom na objektima srednje veličine te na širokim i relativno plitkim velikim akumulacijama smještenim u ravninama. Tu se javlja i problem zagađenja nataloženog nanosa i eutrofikaciji vode u akumulaciji. Odluka o tome što se treba poduzeti mora se donijeti na osnovi detaljnih analiza cijene koštanja uklanjanja brane i sanacije zagađenog sedimenta te dugoročnih koristi koje se dobivaju uklanjanjem objekta.

Četvrti scenarij se odnosi na brane koje su na kraju svog životnog vijeka i koncesijskog razdoblja, a koje predstavljaju prepreku za migraciju riba i ostalih vrsta. Radi se o sve češćoj situaciji u cijelom svijetu i u Europi. Praksa je u brojnim slučajevima pokazala da su izgradnja ribljih staza, liftova za ribe ili nekih drugih zahvata vrlo skupi i neučinkoviti. U tom se slučaju predlaže uklanjanje pregrada kao najbolje rješenje.

Činjenica je da u brojnim situacijama nije jednostavno i jednoznačno moguće definirati u koji scenarij treba

smjestiti određeni slučaj. Kako brane sve više stare očito je da će i u Hrvatskoj biti sve više problema ove vrste. Vrijeme je da se i mi počnemo ozbiljno pripremati za izazove koji nam neizbježno predstoje u bliskoj budućnosti. Autori ovog članka se nadaju da će ovaj rad predstavljati poticaj da se brojni kolege iz raznih struka uključe u raspravi i razmišljanje kako riješiti ovu problematiku u našoj zemlji. To mu je i bio glavni cilj.

Interes ekologa i biologa za posljedice uklanjanja brana na otvorenim vodotocima skoncentriran je na objašnjavanje procesa koji ovaj radikalni zahvat izaziva u riječnim i okolnim ekosustavima. Otvara se realna mogućnost novih važnih znanstvenih otkrića vremenskih i prostornih interakcija fizičkih, kemijskih i bioloških reakcija na uklanjanje pregrada. LeRoy Poff i Hart (2002.) smatraju da aktivnosti vezane s izučavanjem posljedica uklanjanja brana otvaraju nove i neslućene mogućnosti za razvoj znanstvene ekologije. Pošto se u budućnosti očekuje značajno povećanje broja uklonjenih pregrada, nova saznanja bit će ključna za donošenje praktičnih odluka o ovoj, za sada nedovoljno poznatoj, i stoga kontraverznoj problematici.

U Hrvatskoj se danas ne razmišlja o uklanjanju brana. Postavlja se pitanje do koje su mjere ove važne, ali i osjetljive građevine zaista pod kontrolom. Koliko smo sigurni da neće doći do havarija na određenim građevinama, npr. u slučaju potresa većih intenziteta? Autori ne raspolažu s podacima o mjerama i zahvatima koji se s tim ciljem vrše, što ne znači da ih nema. Međutim, čak ni stručna, a kamo li šira javnost nije s njima dovoljno upoznata. Treba dodati činjenicu da su brojne brane u Hrvatskoj građene u području krša te da se u takvim uvjetima javljaju specifični problemi koji za njihovu stabilnost mogu biti pogubni. Roje-Bonacci i Bonacci (2013.) te Fell et al. (2015.) u svojim radovima ukazuju na probleme koji se na krškim terenima, vezano na izgradnju brana, mogu pojaviti.

Pri donošenju vrlo osjetljive odluke o potrebi ostanka i eventualne obnove ili uklanjanja neke brane bitno je odluku zasnovati na podacima dobivenim detaljnim sustavom opažanja i praćenja analiziranog objekta, kao i na interaktivnoj suradnji brojnih stručnjaka te zainteresiranog lokalnog stanovništva. Ekonomski razlozi moraju biti uzeti u obzir. Za ispunjavanje tog zadatka potrebno je raspolagati detaljnim tehničkim, geomorfokloškim i ekološkim monitoringom same brane, ali i šireg riječnog sustava. Odluke treba donijeti konsenzusom brojnih struka, a ključnu ulogu moraju imati građevinski inženjeri, ekolozi i riječni geomorfolozi. Ne smiju se zanemariti mišljenja ekonomista, pravnika, političara i osobito mjesnog stanovništva.

Kako ipak najčešće bitni razlog za uklanjanje brana leži u njenoj stabilnosti, o tom problemu treba voditi osobito pažljivo računa. S ciljem da bi se mogle donijeti pouzdane odluke o stabilnosti objekta, branu bi trebalo opremiti reperima, piezometrima i senzorima za mjerenje naprezanja i pornih tlakova kako bi stručnjaci na temelju njih mogli provesti odgovarajuće analize stabilnosti i deformacija.

Odgovarajuće bi analize trebali izvršiti stručnjaci drugih struka (biolozi, agronomi, ekolozi, riječni geomorfolozi itd.). S ekološkog i geomorfološkog stanovišta naglasak bi trebalo staviti na detaljno utvrđivanje nultog stanja (stanja prije uklanjanja brane). Po njenom uklanjanju treba detaljno pratiti kako se razvijaju geomorfološki procesi (uzvodno i nizvodno) te kako oni utječu na ekološke procese u širem riječnom okolišu. Na temelju tako detaljnih (i skupih) opažanja i analiza trebalo bi biti omogućeno donošenje ispravnih odluka ne samo o potrebi uklanjanja, već i o posljedicama

koje je uklanjanje uzrokovalo. Međutim, treba biti svjestan činjenice da će i usprkos najdetaljnijih analiza brojna pitanja ostati otvorena te da uklanjanje pojedine brane može rezultirati neočekivanim i neželjenim posljedicama.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju dvojici nepoznatih recenzenata koji su svojim primjedbama značajno pridonijeli poboljšanju kakvoće ovog rada. ■

LITERATURA

- ARFETU (American Rivers, Friends of the Earth, and Trout Unlimited) (1999.): *Dam removal success stories*, Washington, D. C.
- ASCE (American Society of Civil Engineers Task Committee) (1997.): *Guidelines for retirement of dams and hydroelectric facilities*, New York.
- Bard, K.A.; Shubert S.B. (1999.): *Encyclopedia of the archaeology of ancient Egypt*. Routledge – Taylor & Francis Group, New York.
- Bonacci, O. (2015.): Brane i akumulacije: jučer, danas, sutra. *Hrvatske vode*, 23(91): 43–49.
- Burroughs, B.; Hayes, D.; Klomp, K.; Hansen, K.; Mistak, J. (2009.): Effects of Stronach dam removal on fluvial geomorphology in the Pine River, Michigan, United States. *Geomorphology*, 110(3–4): 96–107.
- Conyngham, J.; Fischenich, J.C.; White K.D. (2006.): *Engineering and ecological aspects of dam removal – an overview*. Engineer Research and Development Center, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg.
- Downs, P.; Cui, Y.; Wooster, J.; Dusterhoff, S.; Both, D.; Dietrich, W.E.; Sklar, L.S. (2009.): Managing reservoir sediment release in dam removal projects: an approach informed by physical and numerical modelling of non cohesive sediment. *International Journal of River Basin Management*, 7(4): 433–452.
- Doyle, M.W.; Stanley, E.H.; Harbor, J.M. (2003.): Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research*, 39(1): 2.1–2.15.
- Fell, R.; MacGregor, P.; Stapledon, D.; Bell, G.; Foster, M. (2015.): *Geotechnical engineering of dams 2nd ed.*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London.
- Grant, G.E.; Lewis, S.L. (2015.): The remains of the dam: what have we learned from 15 years of US dam removal. U: *Engineering geology for society and territory, Vol. 3 – River basins, reservoir sedimentation and water resources* (urednici G. Lollino; M. Arattano; M. Rinaldi; O. Giustolisi; J.C. Marechal; G.E. Grant), Springer, Heidelberg, 31–35.
- Hart, D.D.; Johnson, T.E.; Bushaw-Newton, K.L.; Horwitz, R.J.; Bednarek, A.T.; Charles, D.F.; Kreeger, D.A.; Velinsky, D.J. (2002.): Dam removal: challenges and opportunities for ecological research and river restoration. *BioScience*, 52(8): 669–681.
- Herle, I. (2004.): *History of geotechnical engineering*. Institute of Geotechnical Engineering, TU Dresden.
- LeRoy Poff, N.; Hart D.D. (2002.): How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *BioScience*, 52(8): 659–668.
- O'Connor, J.; Mayor, J.; Spicer, K.; Mosbrucker, A.; Uhrich, M.; Bragg, H.; Wilcox, A.; Anderson, C. (2012.): Immediate downstream hydrologic and geomorphic response to the Condit Dam removal, White Salmon River, Washington. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 44(7): 1–42.
- Pizzuto, J.E. (2002.) Effects of dam removal on river form and process. *BioScience*, 52(8): 683–691.
- Rathburn, S.L.; Wohl E.E. (2001.): One-dimensional sediment transport modeling of pool recovery along a mountain channel after a reservoir sediment release. *Regulated Rivers – Research and Management*, 17(3): 251– 273.
- Roje-Bonacci, T.; Bonacci, O. (2013.): The possible negative consequences of underground dam and reservoir construction and operation in coastal karst areas: an example of the hydro-electric power plant (HEPP) Ombla near Dubrovnik (Croatia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(8): 2041–2052.
- Schnitter, N. (1994.): *A history of dams: the useful pyramids*. Balkema, Rotterdam.
- Service, R. (2011.): Will busting dams boost Salmon? *Science*, 334: 888–892.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure (posjet 16. veljače 2016.)
- <http://www.americanrivers.org/blog> (posjet 16. veljače 2016.)
- <http://www.pacificorp.com/condit> (posjet 16. veljače 2016.)
- http://www.rivernet.org/general/dams/decommissioning/decom3_e.htm (posjet 16. veljače 2016.)
- <http://www.water-technology.net/features/feature-the-worlds-oldest-dams-still-in-use/> (posjet 16. veljače 2016.)

REMOVAL (DISASSEMBLING) OF DAMS AND/OR BARRIERS ON OPEN WATERCOURSES

Abstract. The paper deals with issues related to the removal or disassembling of the existing dams crossing river beds, which were constructed for different purposes, from flood protection, irrigation and water supply to recreation, fish farming etc. This is a process which has globally started long ago and which is very intensive in the USA in the last several decades in particular. In Croatia, these issues are virtually not discussed at all and therefore very little known, and it is evident that we will have to face them as well. The paper describes numerous reasons for which individual dams have to be removed, including the consequences of carrying out these interventions, both positive and otherwise.

Key words: dam removal, reservoirs, sedimentation, erosion, environmental impacts

BESEITIGUNG (ABBAU) VON STAUWERKEN AN OFFENEN WASSERLÄUFEN

Zusammenfassung. Die Arbeit befasst sich mit der Problematik der Beseitigung bzw. des Abbaus von Stauwerken an Wasserläufen, die zum Zwecke von Hochwasserschutz, Bewässerung, Wasserversorgung, Fischzucht, Einrichtung eines Erholungsgeländes usw. gebaut wurden. Es handelt sich um einen Prozess, der schon lange weltweit begann und namentlich in den Vereinigten Staaten in den letzten Jahrzehnten intensiviert worden ist. In Kroatien ist diese Frage noch nicht thematisiert worden, über diese Problematik weiß man wenig, allerdings ist es offensichtlich, dass wir uns damit auch befassen müssen werden. In der Arbeit sind viele Gründe aufgeführt, warum einzelne Stauwerke beseitigt werden sollen. Die positiven und negativen Folgen der Beseitigung werden auch beschrieben.

Schlüsselwörter: Beseitigung von Stauwerken, Stauseen, Sedimentierung, Erosion, ökologische Folgen